



Programme REBECCA (REcherche Biomasse-Energie Canne à CApesterre)

**Rapport d'exécution n°2
Du 1^{er} juin 2011 au 31 janvier 2012**

**Jean-Louis Chopart, chef de programme
à partir des contributions des participants au programme.**

Avril 2012



Variété de canne fibre WI 79 461 à 9 mois (fin janvier 2012)

Avertissement

Un premier rapport scientifique et technique du rapport d'exécution intermédiaire du programme REBECCA a été rédigé en octobre 2011. Il portait sur la première année du programme de mai 2010 à fin mai 2011. Ce rapport comportait également un volet administratif et financier (qui s'arrêtait au 30 avril 2011). Ce rapport a été remis à la DRRT mi-octobre 2011. La partie scientifique du rapport a fait l'objet d'une note scientifique (Note scientifique n° 4 REBECCA) diffusée en janvier 2012.

Ce second rapport scientifique et technique porte sur la période comprise entre le 1^{er} juin 2011 et le 31 janvier 2012. Il accompagne le second rapport financier qui s'arrête un mois avant au 31 décembre 2011 pour des raisons techniques et comptables.

SOMMAIRE

1. VOLET AGRO-VARIÉTAL	4
1.1. Etudes variétales et agronomiques	4
1.1.1. Travail de terrain. Expérimentations agronomiques et variétales.....	4
1.1.2. Principaux résultats acquis entre le 1 juin 2011 et le 31 janvier 2012.....	6
1.2. Calage du modèle d'estimation de la qualité de la biomasse par analyse SPIR	8
1.2.1. Le modèle « fibres »	8
1.2.2. Le modèle « pouvoir calorifique » (PCS PCI).....	10
1.3. Elaboration d'une base de données REBECCA-BD-A	11
1.3.1. Contexte et généralités sur l'outil	11
1.3.2. Quelques éléments de présentation	11
2. VOLET CHLORDÉCONE.....	14
2.1. Transfert de la chlordécone dans le système sol plante	14
2.1.1. Objectif	14
2.1.2. Travaux réalisés et en cours	14
2.1.3. Premiers résultats	14
2.2. Combustion en laboratoire de tiges de canne à sucre contaminées par la chlordécone	16
2.2.1. Analyse des cendres après combustion dans un four à moufle à différentes températures.....	16
2.2.2. Analyse des gaz de combustion dans un four à cuillère et analyse des produits de combustion.....	17
3. VOLET ÉCONOMIE ET ENVIRONNEMENT	19
3.1. Stage de Master2 économie UAG.....	19
3.2. Analyse de la rentabilité de la nouvelle filière.....	21
3.3. Estimation du gisement agricole potentiel pour une filière de production d'électricité à partir de la biomasse issue de cannes fibres.....	23
3.3.1. Matériels & méthodes	23
3.3.2. Premiers résultats	24
3.4. Analyse du cycle de vie de la filière canne fibre en Guadeloupe	25
3.4.1. Définition des objectifs et du système	25
3.4.2. Cadre méthodologique	26
3.4.3. Avancement des travaux	27
4. ACTIVITÉS DU CHEF DE PROGRAMME.....	28
5. CONCLUSION	30

1. VOLET AGRO-VARIÉTAL

1.1. Etudes variétales et agronomiques

(Jean-Louis Chopart, Cirad)

1.1.1. Travail de terrain. Expérimentations agronomiques et variétales

Conditions climatiques

Le planning concernant les expérimentations variétales en parcelles de tests et en essais statistiques a été entièrement respecté, malgré la très forte pluviosité. La pluviosité entre le 1^{er} juin 2011 et fin janvier 2012 est présentée figure 1 et annexe 1. Au cours de cette période de 8 mois, il y a toujours eu au moins une pluie plus de 20 jours chaque mois, ce qui a complexifié la réalisation du programme. En particulier, le 24 novembre, il a plu 93 mm en 24 h, dont 75 mm en moins de trois heures. Cette averse venant sur un sol en partie asséché a entraîné une saturation avec passage du 2^e sol à l'état boueux dans l'horizon de surface. Ceci a provoqué une verse importante sur les essais V4 et V5 avec déracinement de certains pieds. Il y a ensuite eu 170 mm de pluie en 3 jours, entre le 27 et le 29 novembre, ce qui a renforcé le phénomène.

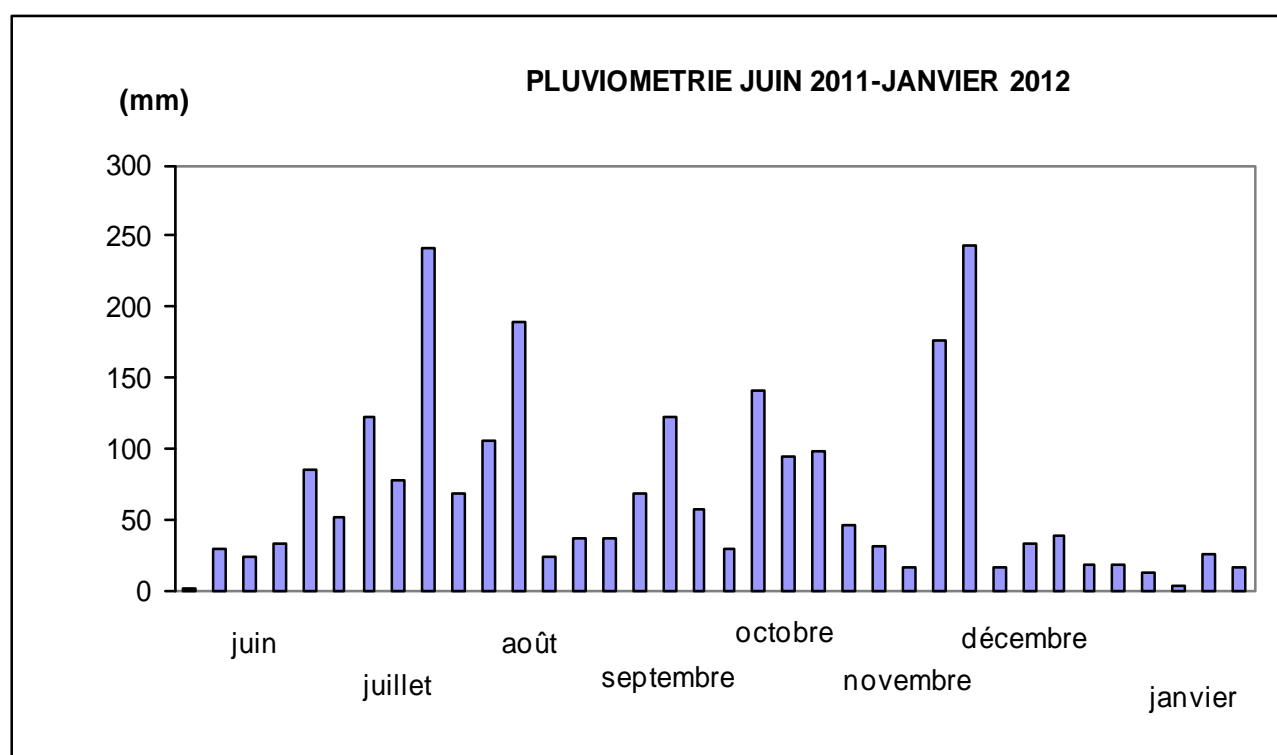


Figure n°1. Pluviosité hebdomadaire entre le 1^{er} juin 2011 et le 25 janvier 2012 au Fromager.

Principales activités de terrain (les activités ont été conformes au planning).

Mise en place de nouveaux dispositifs expérimentaux

- Essai agronomique A1. Conformément au planning, l'essai agronomique A1 a été implanté en juin et en novembre 2011
- Essai agronomique A2. Conformément au planning, l'essai A2 a été implanté en août 2011
- Multiplication 2. Le dispositif (M2) a été implanté aussitôt après la plantation de A1-nov, entre le 21 et le 24 novembre. Il comprend deux lignes de 25 m des 6 variétés WI issues de V4 et trois variétés issues de V3, dont les surfaces, dans l'essai V2, sont faibles.

Mesures biométriques effectuées

Le programme de mesures biométriques s'est poursuivi conformément aux prévisions.

Essai Agro2. Mesures le 10 octobre, 2 mois après plantation (MAP). Le témoin R579 et la variété TC8 ont, en moyenne, 7 tiges/m² et la variété WI870903, 5 tiges/m².

Essai V5. Mesures à 4 MAP le 20 septembre.

Deux variétés, FR862027 et BBZ92076, ont un nombre de tiges d'environ 16/m², supérieur aux autres variétés testées (entre 8 et 10/m²). Ce classement est très différent de celui observé à la levée ; le témoin R579 était alors celui qui avait les meilleures performances.

Essai V3 Notations de verse le 14 octobre.

Essai V4 Mesures non destructives à 6 MAP le 19 octobre.

Evolution des dispositifs expérimentaux

Entre le 22 octobre et le 23 novembre, les dispositifs expérimentaux se comportent normalement, avec une difficulté à maîtriser les mauvaises herbes pour les dispositifs les plus récemment implantés (Essais agronomiques 1 et 2), à cause de la pluie. Il y a aussi de la verse sur certaines parties et certaines variétés des essais V3 et V4 (notations de cette verse, qui sera un des critères de sélection des variétés). Le 24 novembre, l'averse intense a provoqué une forte verse et un déracinement partiel des parcelles des essais V4 et surtout V5. Des notations ont été faites.

Analyses extérieures d'échantillons pour analyses de fibre ou de Chlordécone.

Dans le cadre de l'étude sur la chlordécone dans la plante et conformément au protocole, 39 échantillons de plante et 9 échantillons de sol ont été envoyés au laboratoire DLA26 de la Drome pour analyse de chlordécone. Ils correspondent à l'échantillonnage fait sur l'essai V3 à 8 mois. Les résultats ont été reçus fin 2011.

Le 28 09, les résultats de l'analyse sol faite sur la parcelle supportant les essais V1 et V2 ont été reçus : la teneur en chlordécone dans les 20 premiers cm de sol est de 9.66 mg/kg, elle est représentative des teneurs dans la zone.

Caractérisation du matériel végétal (quantité et qualité)

Toutes les mesures de terrain prévues ont été réalisées concernant la biomasse humide et sèche des organes (tiges, les feuilles vertes, les feuilles sèches et les parties sommitales), en particulier les mesures biométriques à 9 mois sur V2A.

Pour chaque variété de cet essai, des analyses SPIR ont été faites sur ces 4 organes. Une étude est en cours avec les spécialistes à Montpellier pour établir un modèle de prévision des teneurs en fibres et en sucre de ces organes à partir des spectres SPIR.

A la demande des collègues de l'UMR SELMET, 53 échantillons supplémentaires de plantes récemment analysés localement avec le SPIR ont été envoyés le 12 octobre 2011.

1.1.2. Principaux résultats acquis entre le 1 juin 2011 et le 31 janvier 2012

Essais variétaux

Essai V3. Résultats de biomasse à 12 mois

L'essai V3 a eu des difficultés de levée liées à la période (décembre) peu favorable de plantation. Les résultats des mesures biométriques effectuées à la récolte à 8 et 12 mois figurent dans les tableaux n° 1 et 2 et la figure n°2. Les témoins locaux ont un très bon comportement, ce qui montre que les conditions de cultures ont été bonnes. A 12 mois, le rendement en tiges usinables est de plus de 200 t/ha, ce qui est supérieur aux rendements usuels dans la zone. Dans ces conditions, les productions de matière sèche des cannes testées dans cet essai ne sont pas nettement différentes, elles sont même légèrement inférieures. A 12 mois, seules les variétés VMC 870603, WI 870603 et TC8 se rapprochent des témoins locaux sucriers.

Tableau 1. Essai V3. Mesures de biomasse sur des cannes âgées de 8 mois (août 2011). Les variétés R579 et R 570 sont les témoins locaux. Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents suivant le test de Newman-Keuls au seuil de 0.05

Variété	R579	R570	F176	FR90925	VMC86550	WI87603	NG28007	TC8
poids tiges usinables t/ha	123a	118a	107a	117a	118a	78a	73a	141a
Taux de mat sèche tiges	19a	18a	21a	19a	20a	22a	22a	22a
% amarres	19ab	18b	18b	18ab	19ab	21a	19ab	18ab
f. vertes	25a	23a	24a	24a	27a	26a	26a	27a
Rend Mat Sèche t/ha								
Tiges	23.6a	21.5a	22.5a	21.7a	23.2a	16.9a	16.2a	30.9a
Amarres	5.3a	5.0a	4.9a	6.2a	5.2a	6.3a	9.1a	6.6a
f. vertes	3.3a	3.5a	2.9a	4.2a	3.5a	2.9a	3.6a	3.1a
f. sèches	3.1b	3.7b	3.4b	4.2b	3.3b	2.7b	2.5b	6.4a
Total	35.2a	33.7a	33.7a	36.3a	35.2a	28.7a	31.4a	46.9a

Tableau 2. Essai V3. Mesures de biomasse sur des cannes âgées de 12 mois (décembre 2011). Les variétés R579 et R 570 sont les témoins locaux. Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents suivant le test de Newman-Keuls au seuil de 0.05

Variété	R579	R570	F176	FR90925	VMC86550	WI870603	NG28007	TC8
Poids tiges usinables t/ha	207a	210a	167ab	160ab	177ab	138b	91c	181ab
Taux matière sèche %								
Tiges	23b	23b	27b	26b	28b	32a	27b	25b
Amarres	22a	23a	19a	27a	27a	28a	20a	22a
(estimation) F. vertes	26a	27a	29a	31a	32a	31a	29a	26a
Rdt Matière sèche t/ha								
Tiges	49a	49a	45a	42a	49a	45a	25a	46a
Amarres	7a	6.7a	5.1a	8.1a	4.8a	8.1a	6.5a	6.2a
F. vertes	2.8a	2.8a	2.4a	3a	2.6a	2.4a	2.7a	2.4a
F. sèches	5.6a	10.8a	6.7a	8.1a	9.3a	7.5a	7.9a	8.5a
TOTAL	64a	69a	59a	61a	66a	63a	42a	63a

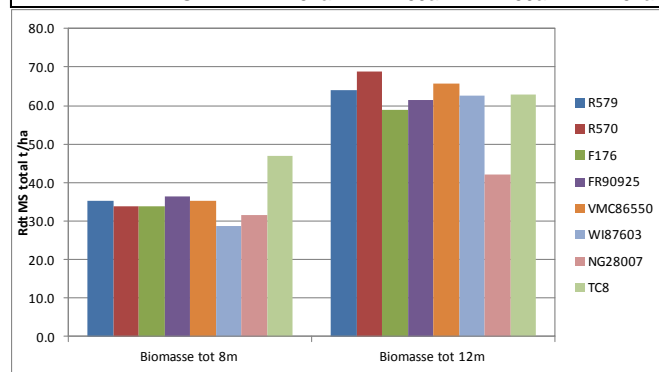


Figure n°2. Essai V3 planté en décembre 2011, biomasse totale à 8 et 12 mois

Si l'on considère la moyenne à 8 et à 12 mois, les 2 variétés VMC 870603 et TC8, se situent au même niveau que les témoins. Les taux de matière sèche de la biomasse des cannes testées sont, en revanche, légèrement supérieurs à ceux des témoins. Il s'agit là, bien sûr, d'un avantage comparatif intéressant.

Essai V4 : Résultats de biomasse à 8 mois

A 8 mois (tab n° 3) la production de biomasse du témoin R579 (46 t/ha) est nettement supérieure à celle de V3 (35 t/ha), mentionnée lors du CODIR du 29 09. La plantation en avril a été plus propice à la levée, et la culture a bénéficié de conditions de jours plus longs et de températures plus chaudes au cours des 8 premiers mois (entre fin avril et fin décembre). Dans ces conditions, seules 3 des 6 variétés importées de Barbade ont des productions de matière sèche totale supérieures à celle du témoin. Il s'agit de WI 9460, WI79461 et WI 81456. En revanche, les taux de matière sèche des variétés WI sont, pour la plupart, supérieurs à ceux du témoin. C'est le cas, en particulier, pour les tiges des trois meilleures variétés WI.

Tableau 3. Essai V4. Mesures de biomasse sur des cannes âgées de 8 mois (décembre 2011) La variété R579 est le témoin local. Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents suivant le test de Newman-Keuls au seuil de 0.05

Variété		R579	WI78402	WI79460	WI79461	WI80542	WI86015	WI81456
Poids tiges usinables t/ha		146a	81b	117a	138a	80b	81b	137a
Taux matière sèche %	Tiges	21b	19b	26a	24a	19b	26a	24a
	Amarres	19a	20a	21a	20a	17a	23a	21a
	F. vertes	25ab	25ab	29ab	27ab	24b	30a	30ab
Rdt Matière sèche t/ha	Tiges	30a	16b	30a	33a	16b	21b	33a
	Amarres	7ab	6.0ab	9a	8ab	2.2b	4.8ab	9ab
	F. vertes	2.9ab	2.1abc	3.3a	2.4ab	1c	1.7bc	3ab
	F. sèches	6a	5.7a	7a	5.7a	6a	4a	5.3a
TOTAL		46a	30b	50a	49a	25b	32b	51a

La variété WI 79461 montre une vigueur à la levée nettement supérieure à celle des autres mais son rendement à 8 mois est au même niveau que celui des deux meilleures variétés.

Essais agronomiques

Essai Agro 1 Date de plantation en début de campagne (juin) mesures à 6 mois

Tableau 4. Essai A1. Mesures de biomasse sur des cannes âgées de 6 mois (décembre 2011). Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents suivant le test de Newman-Keuls au seuil de 0.05.

Variété		BBZ92076	BR62002
Poids tiges usinables t/ha		41b	63a
Taux matière sèche % (estimation)	Tiges	15b	19a
	Amarres	20a	18a
	F. vertes	24a	23a
Rdt Matière sèche t/ha	Tiges	6.1a	11.8b
	Amarres	5.4a	6a
	F. vertes	1.8b	3.6a
	F. sèches	0.6a	0.1a
TOTAL		14a	21.5a

Les premiers résultats obtenus sur cet essai n'auront un réel intérêt scientifique que lorsque d'autres mesures à 8 mois et 12 mois seront disponibles et qu'ils pourront être comparés à ceux de l'autre date de plantation effectuée en fin de campagne. Six mois après plantation, la variété BR 62002 a un rendement supérieur à celui de BBZ92076. Les résultats obtenus sur le dispositif V2, donnaient un rendement légèrement supérieur pour BBZ92076 mais à un stade plus tardif



Photo n°2 Essai agronomique 1 en novembre 2011
(à droite plantation de novembre et à gauche celle de juin ; au fond essai V3).

1.2. Calage du modèle d'estimation de la qualité de la biomasse par analyse SPIR

(Laurent Bonnal, Jean-Louis Chopart, Denis Bastianelli, Cirad)

1.2.1. Le modèle « fibres »

Mise au point du modèle au Cirad Montpellier

Le calage du modèle expérimental permettant d'estimer la qualité de la biomasse (teneurs en cellulose, hémicellulose, lignine, sucres) s'est poursuivie au CIRAD à Montpellier par Denis Bastianelli et Laurent Bonnal, en collaboration avec l'équipe du programme. Cette calibration s'est faite à partir de spectres SPIR et d'analyses chimiques de référence de 169 échantillons issus du programme REBECCA. Des premiers éléments, non consolidés, mais très encourageants, sont donnés, à titre d'exemple, dans le tableau n°5 et la figure n°3 pour les sucres.

Tableau 5 : Caractéristiques des équations. Nombre : nombre d'échantillons utilisé par le modèle. Moyenne : moyenne pour les échantillons utilisés. SEC : erreur standard du modèle. R² : coefficient de détermination du modèle. SECV : erreur standard de validation croisée.

Paramètre	Matières minérales	Hémi-Cellulose	Cellulose	Lignine	Sucres
Nombre	403	369	371	370	170
Moyenne	4.82	25.84	34.72	7.18	22.99
SEC	0.56	1.13	1.01	0.59	0.66
R ²	0.97	0.97	0.98	0.95	1.00
SECV	0.73	1.56	1.28	0.81	2.14

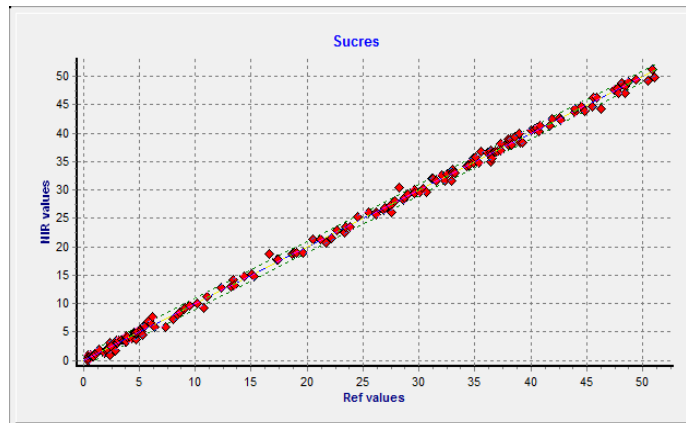


Figure 3 : Valeurs prédites de sucres en fonction des valeurs de références

Le modèle d'étalonnage consolidé est fin janvier en cours d'élaboration avec les échantillons complémentaires du programme envoyés et analysés. Laurent Bonnal sera en mission à la Guadeloupe à partir du 30 janvier pour procéder aux derniers ajustements et transférer le modèle consolidé dans l'appareil SPIR du programme à la Guadeloupe. Ce travail consistera, entre autre, à la saisie spectrale d'échantillons complémentaires pour préparer le transfert des étalonnages, puis au transfert des étalonnages en vue d'une utilisation en routine et enfin à des tests de vérification de la qualité des mesures.

Suite au transfert des étalonnages consolidés sur le site, des valeurs de teneur en fibres et en sucre de biomasse sèche seront donc très prochainement disponibles pour l'ensemble des variétés étudiées à ce jour et intégrées dans le rapport provisoire phase 1.

Premiers résultats

Des premiers éléments, non consolidés, obtenus avec le modèle provisoire sont donnés dans les tableaux n° 7 et 8 à titre d'exemple. La variété du genre Erianthus, NG 28007, a un taux de sucre nettement inférieur aux cannes à sucres comme on pouvait s'y attendre. Le modèle, même provisoire, identifie et fait très bien ressortir ces différences.

Tableau n°6 Teneurs en fibres, sucres et matières minérales des variétés des essais V1 et V2 âgées de 8 mois, retenues pour étude dans l'essai V3. Teneurs sont exprimées en % de la matière sèche.

Variété		FR90925	NG28007	VMC86550	TC8	WI870603	F176
Hémi-cellulose %	Amarres	31	34	33	29	30	29
	F.sèches	33	36	31	34	32	33
	F.vertes	30	32	30	32	30	31
	Tiges	12	25	15	17	19	20
Cellulose %	Amarres	35	37	30	36	37	40
	F.sèches	40	41	40	42	41	40
	F.vertes	36	36	36	37	37	35
	Tiges	24	45	23	28	38	26
Lignine %	Amarres	6	6	4	6	6	6
	F.sèches	10	8	9	9	9	9
	F.vertes	7	7	6	7	7	7
	Tiges	6	12	5	6	9	6
Matières Minérales %	Amarres	8	8	5	7	8	8
	F.sèches	8	7	7	6	6	7
	F.vertes	9	9	9	8	9	9
	Tiges	3	7	2	3	3	3
Sucres %	Amarres	5	2	17	3	2	2
	F.sèches	0	1	2	0	1	1
	F.vertes	6	1	6	3	2	3
	Tiges	49	4	51	41	26	41

Tableau n° 7 Teneurs en fibres, sucres et matières minérales des variétés de l'essai V2 âgées de 8 mois retenues pour études dans l'essai V5. Ces teneurs sont exprimées en % de la matière sèche.

Variété		BBZ 92076	FR862027	BR6002	B79049
Hémicellulose%	Amarres	31	30	29	31
	F.sèches	35	33	32	34
	F.vertes	31	31	29	31
	Tiges	18	21	19	18
Cellulose %	Amarres	38	38	35	38
	F.sèches	40	41	40	41
	F.vertes	36	38	38	38
	Tiges	33	39	31	26
Lignine %	Amarres	6	6	6	6
	F.sèches	9	9	9	8
	F.vertes	7	8	7	7
	Tiges	8	9	7	6
Matières minérales %	Amarres	7	8	7	7
	F.sèches	7	9	7	7
	F.vertes	8	8	9	7
	Tiges	4	5	4	3
Sucres %	Amarres	1	2	7	4
	F.sèches	1	2	6	0
	F.vertes	4	0	5	5
	Tiges	22	16	27	34

1.2.2. Le modèle «pouvoir calorifique» (PCS PCI)

Parallèlement, à l'élaboration du modèle fibres, l'équipe de l'UMR SELMET à Montpellier a commencé à construire le modèle de prédiction du pouvoir calorifique inférieur (PCI) de la biomasse des variétés du programme. Cette étape a fait l'objet d'un stage de BTS qui s'est terminé fin décembre. Durant ce stage, Delphine NIVON a réalisé environ 200 déterminations de PCI sur les mêmes échantillons que ceux utilisés pour la création des modèles d'étalonnage pour la prédiction des fibres et des sucres. La détermination du PCI est réalisée par combustion grâce à un calorimètre abiabatique. A titre d'illustration, la figure n°4 décrit les résultats obtenus pour le modèle de prédiction du PCI.

La mission en cours de Laurent Bonnal de fin janvier va permettre, à partir des résultats du stage, d'élaborer, avec le chef de programme, une méthodologie d'estimation du PCI des échantillons de biomasse déjà disponibles et de ceux à caractériser en fin de phase 1 et en phase 2.

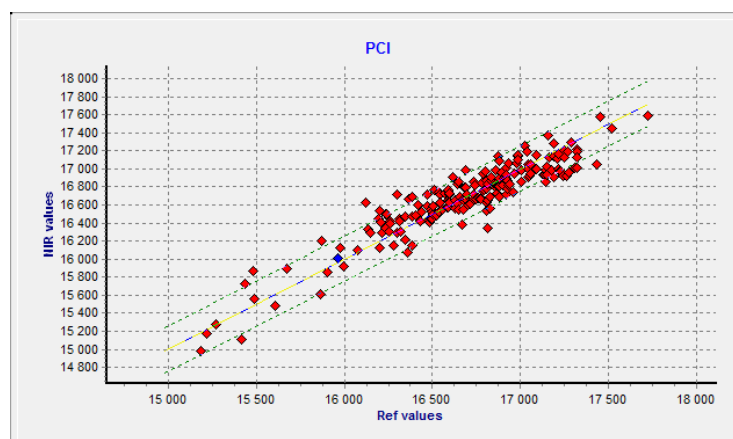


Figure n° 4 : Valeurs prédites de PCI en fonction des valeurs obtenues calorimétrie.
Nombre d'échantillons 196. $R^2 = 0.86$

Cela permettra, très bientôt, de caractériser le pouvoir calorifique du matériel végétal testé en croisant la biomasse produite par unité de surface avec le pouvoir calorifique par kg de biomasse. On aura alors un critère de sélection adapté à la problématique et des informations utiles pour les études économiques et environnementales

1.3. Elaboration d'une base de données REBECCA-BD-A

(Sandrine Auzoux, Jean-Louis Chopart, Géraud de St Seine, Cirad)

Une base de données permettant de stocker de façon structurée les données issues du volet agrovariétal a été élaborée à partir d'avril 2011, mais elle a connu un temps fort entre juin et fin septembre 2011. Une note scientifique a été rédigée fin septembre¹. Cette note présente l'outil lui-même, le contexte de son élaboration et ses fonctions. Elle sert de guide d'utilisateur. Cette note est jointe en annexe. Seuls les principaux éléments sont repris ici.

1.3.1. Contexte et généralités sur l'outil

La base de données est nommée REBECCA-BD.A. Elle a été conçue pour la gestion des données agronomiques obtenues dans le cadre du programme de recherche « REBECCA » Cette base de données stocke les données sur le matériel végétal testé (mesures biométriques et production, caractéristiques chimiques). Elle a été conçue pour être le plus simple possible d'usage tout en étant performante. Le suffixe est A pour Agronomie. Cette base de données est surtout un lieu de sauvegarde structurée et protégée de données brutes et non un moyen de diffusion des résultats, même provisoires. Un guide de l'utilisateur est disponible. Il vise à faciliter la manipulation de l'outil par un opérateur de saisie. L'outil a été développé sous Microsoft Access 2007. Il est basé sur un modèle de données, composé de tables reliées entre elles, qui contiennent les données relatives aux mesures réalisées sur les essais du programme REBECCA.

1.3.2. Quelques éléments de présentation

Dans l'écran d'accueil (Fig. 4), le bouton « Plus d'infos » donne le contexte de la base de données Rebecca. En appuyant sur le bouton « Démarrer », on arrive sur un formulaire général offrant à l'utilisateur trois types d'actions possibles :

- la saisie des données concernant les mesures biométriques et les mesures de récolte,
- la modification des données concernant les mesures biométriques et de récolte existantes,
- la gestion des données, c'est-à-dire exporter des mesures parmi celles déjà entrées dans la base de données.

En cliquant sur le bouton « saisie mesures biométriques » du formulaire général (Fig 5), on accède par exemple à un formulaire permettant de saisir les mesures non destructives faites en cours de cycle (nombre de plants à la levée/ m², nombre de touffes/ m², nombre de tiges/m², hauteur moyenne des tiges en cm) (Fig. 6).

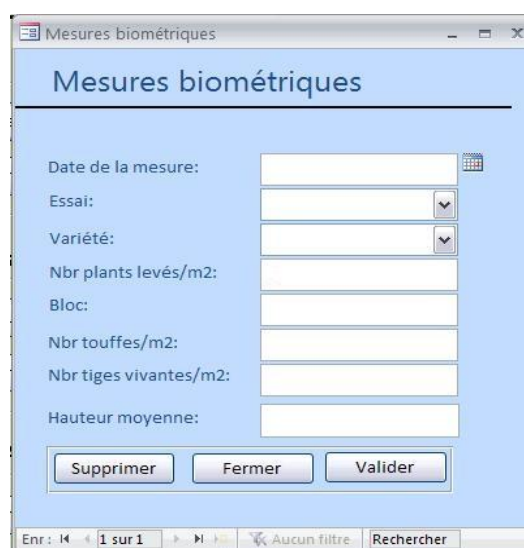
En cliquant sur le bouton « Sélection/Exportation des mesures récoltes » du menu général (Fig. 5), on accède à l'écran « gestion des données de récolte » (Fig. 7).

Cet écran permet de visualiser les données contenues dans la base avant d'exécuter une requête ou de les exporter dans un tableur.

¹ Auzoux S, Chopart JL, De Saint-Seine G., Septembre 2011. REBECCA-BD.A (V1.0), base de données agronomiques du programme REBECCA : présentation et guide de l'utilisateur. Note scientifique REBECCA n°3.



Figure n° 5 Page d'ouverture de REBECCA BD-A



Figures 6 et 7. A gauche, figure 6 : menu général pour accéder à la saisie/modification et à l'exploitation des données de mesures. Le bouton « Fermer » permet de revenir à l'écran d'accueil de l'application REBECCA-BD.A ». A droite, figure 7 : Page de saisie des mesures biométriques, avec l'agrandissement du bas de la page indiquant les numéros d'enregistrement et le défilement des enregistrements déjà saisis.

frm_requete2

Gestion des données de récolte

Veillez sélectionner un essai, une variété ou une date de prélèvement pour extraire les mesures que vous souhaitez.

Essai: Variété: Date de prélèvement: Organe:

IdEchantillon	DatePrelev	Essai	Variete	Bloc	AgeCanne	Organe	PoidOrgane	MSOrgar
CV1D011T01R1	15/11/2010	Essai V1	B 90246	1	8	Amarre	750	20.2
CV1D011T01R1	15/11/2010	Essai V1	B 90246	1	8	Feuille sèche	140	51.3
CV1D011T01R1	15/11/2010	Essai V1	B 90246	1	8	Feuille verte	0	0
CV1D011T01R1	15/11/2010	Essai V1	B 90246	1	8	Tige	8700	21.4
CV1D011T02R1	15/11/2010	Essai V1	B 70462	1	8	Amarre	970	23.3
CV1D011T02R1	15/11/2010	Essai V1	B 70462	1	8	Feuille sèche	1050	54
CV1D011T02R1	15/11/2010	Essai V1	B 70462	1	8	Feuille verte	0	0
CV1D011T02R1	15/11/2010	Essai V1	B 70462	1	8	Tige	9170	16.9
CV1D011T03R1	15/11/2010	Essai V1	BBZ 8283	1	8	Amarre	1150	21.5
CV1D011T03R1	15/11/2010	Essai V1	BBZ 8283	1	8	Feuille sèche	910	52
CV1D011T03R1	15/11/2010	Essai V1	BBZ 8283	1	8	Feuille verte	0	
CV1D011T03R1	15/11/2010	Essai V1	BBZ 8283	1	8	Tige	9900	29.8
CV1D011T04R1	15/11/2010	Essai V1	FR 99349	1	8	Amarre	1980	23.3
CV1D011T04R1	15/11/2010	Essai V1	FR 99349	1	8	Feuille sèche	580	37
CV1D011T04R1	15/11/2010	Essai V1	FR 99349	1	8	Feuille verte	750	27.5
CV1D011T04R1	15/11/2010	Essai V1	FR 99349	1	8	Tige	13340	26.6
CV1D011T05R1	15/11/2010	Essai V1	FR 90925	1	8	Amarre	1790	20
CV1D011T05R1	15/11/2010	Essai V1	FR 90925	1	8	Feuille sèche	1410	62.5
CV1D011T05R1	15/11/2010	Essai V1	FR 90925	1	8	Feuille verte	570	28

Enr : 1 sur 224 Rechercher

Figure 8 : Ecran de gestion des données à la récolte.

Cette base de données permet aux scientifiques du volet économie et environnement d'avoir accès aux données agronomiques, dans une démarche de collaboration entre les agronomes et les économistes du programme REBECCA.

2. VOLET CHLORDÉCONE

Les études concernant la chlordécone revêtent 3 aspects : (i) transfert de la CLD du sol vers la plante, (ii) combustion labo de la CLD, (iii) combustion industrielle.

Il est rappelé que :

- (i) est sous la responsabilité du Cirad (JL. Chopart).
- (ii) est traité en métropole, sous forme d'études en laboratoire par le Cirad (UR Biomasse-Energie de Sylvie Mouras)
- (iii) est traité à la distillerie de Bologne sous la coordination de Cann'Elec Développement (R. Guichard) ; cette étude de la combustion industrielle a commencé fin février 2012 (ses résultats seront donc présentés dans le rapport final d'exécution du programme REBECCA).

2.1. Transfert de la chlordécone dans le système sol plante

(Jean-Louis Chopart, Pauline Marie, Cirad)

2.1.1. Objectif

L'objectif est d'évaluer, pour les cannes fibres, les teneurs en CLD dans les tiges (hauteur de migration, concentration), en partant des méthodes et résultats obtenus au PRAM sur CAS. On comparera nos résultats avec ceux obtenus sur des cannes à sucre cultivées à la Martinique et en Guadeloupe. Des premières études ont en effet déjà eu lieu sur CAS par le PRAM.

Les mesures sont faites dans les expérimentations variétales au Fromager sur les essais V3 et V4.

2.1.2. Travaux réalisés et en cours

Une première étude a eu lieu sur l'essai V3 (planté en décembre 2010), sur 3 traitements: 1 témoin et les 2 meilleures variétés suite aux mesures à 6 mois de mi juin. Les mesures ont eu lieu en août 2011, juste avant les mesures biométriques à 8 mois et en décembre 2011 à 12 mois.

Les parties prélevées de la plante comprennent 6 compartiments (4 de parties aériennes, 1 de tige souterraine, 1 de racines proches des tiges).

Les prélèvements de parties aériennes ont eu lieu à 3 endroits différents de chaque parcelle.

Un prélèvement de sol (0-30 cm) a eu lieu sous les pieds mesurés et dans les interlignes.

Sur les tiges et les racines, on mesure la matière humide, la matière sèche, puis (après broyage), on effectue des analyses SPIR avant d'envoyer à l'analyse de CLD.

Le même type d'étude est en cours sur l'essai V4, sur les variétés WI les plus prometteuses, au vu des premiers résultats des mesures non destructives (donc sans mesure de biomasse). Les variétés retenues, en plus du témoin R579 sont: WI 86015 (T6) et WI81456 (T7). Des prélèvements ont eu lieu en décembre 2011 (canne âgée de 8 mois) et d'autres sont prévus en avril 2012 à 12 mois.

2.1.3. Premiers résultats

Les résultats de chlordécone du premier prélèvement (V3 à 8 mois) ont été reçus récemment (début janvier). Une stagiaire, élève ingénieur, arrive le 6 février pour 6 mois. Le sujet de son stage est : « Caractériser et suivre la chlordécone dans des cannes fibreuses pour évaluer l'impact environnemental d'une production de canne à vocation combustible en sol chlordéconé ».

Elle aura donc pour tâche principale d'analyser les résultats qui viennent d'arriver ainsi que ceux qui vont venir par la suite et de les relier aux paramètres sol, environnement, caractéristiques de la biomasse (taux de fibres, production).

Toutefois, on présente en tableau n° 8, les premiers résultats bruts de l'essai V3 à 8 mois.

Tableau n°8 Teneurs en chlordécone, en µg/kg de matière sèche du sol, des racines, des tiges souterraines et aériennes sur l'essai V3 avec une canne âgée de 8 mois.

	R579	TC8	F176
Sol (0-20 cm)	7087	5963	6233
Racines (0-20 cm)	10565	8951	6136
Tiges souterraines	814	955	875
Tiges aériennes entre-nœuds 1-5	10	23	14
Tiges aériennes entre-nœuds 6-10	1	2	3
Tiges aériennes entre-nœuds 11-20	1	2	4

Ces résultats, à confirmer, ont été obtenus dans un sol dont le taux de pollution à la chlordécone est représentatif des sols de la zone. Ils apportent des éléments sur les parties aériennes.

- La chlordécone y reste localisée dans les premiers entre-nœuds (1 à 5) c'est dire sur quelques centimètres. Au dessus, les teneurs sont faibles.

- Il n'y a pas de différence spectaculaire entre la variété de canne à sucre, très utilisée dans la zone (R579) et deux variétés, elles aussi cannières, mais testées pour leur aptitude à servir de canne combustible.

- Il semble qu'il n'y ait pas de contradiction avec les résultats obtenus à la Martinique sur une autre variété commerciale. La comparaison n'est pas simple, car la présentation des résultats est faite sur la matière sèche dans le programme REBECCA et sur la matière fraîche au PRAM Martinique. Par ailleurs, à la Martinique, les évaluations de la partie basse de la tige se sont faites sur une hauteur de tiges plus grande (1/3 de tige) alors que les entre-nœuds 1 à 5 sont localisés sur environ 1/10 de la tige.

Les résultats les plus innovants obtenus concernent la partie souterraine des tiges et les racines. Ces organes n'ont pas été étudiés à la Martinique. Il semble même que c'est la première fois que de telles analyses sont effectuées (à vérifier par une bibliographie appropriée à faire par la stagiaire).

Les teneurs en CLD des racines sont même supérieures à celles du sol environnant, les deux étant exprimées en µg de CLD par kg de matière sèche. Les racines vivantes ont une humidité de plus de 80 %, ce qui diminue, in situ, leur concentration au contact du sol humide, mais le gradient dans la plante reste spectaculaire.

Ces résultats innovants, s'ils se trouvent confirmés, sont très prometteurs. Ils ouvrent la voie à une compréhension puis une modélisation du transfert de la CLD dans le système sol-eau-plante.

Ces premiers résultats montrent que la concentration en chlordécone dans les parties souterraines des tiges est entre 40 à 100 fois supérieure à celle des premiers entre-nœuds aériens. Les racines concentrent une teneur en chlordécone environ dix fois supérieure à celle des tiges souterraines. Il existe un rapport compris en 500 et 1 000 entre les racines et la partie basse de la tige. Il y a donc un gradient extrêmement fort de concentration de CLD entre les racines, qui absorbent et stockent la CLD, et les parties aériennes.

2.2. Combustion en laboratoire de tiges de canne à sucre contaminées par la chloredécone

(Sylvie Mouras, Benoit Lebert, Cirad)

Les deux objectifs principaux de cette étude sont de déterminer :

- les comportements en combustion de la canne contaminée et de la chloredécone (CLD) seule, afin de les comparer,
- la répartition des polluants dans les différents produits de combustion (les cendres et les effluents gazeux).

Il faut toutefois souligner que les analyses ne sont que qualitatives et que les conditions expérimentales du montage sont spécifiques à celui-ci. Les résultats obtenus ne sont pas représentatifs de ce qui se passe en chaudière. Il s'agit donc d'une estimation des produits de combustion, qu'il faudra extrapoler avec prudence.

2.2.1. Analyse des cendres après combustion dans un four à moufle à différentes températures

Le but était de brûler en présence d'oxygène des échantillons de cannes contaminées puis de récupérer les cendres et analyser leur teneur en chlore. La canne non contaminée sert ici de témoin.

Le chlore mesuré dans ces cendres provient de *deux sources différentes* :

- le chlore provenant du sol où la canne a poussé, nécessaire à la croissance de celle-ci,
- le chlore présent dans la molécule de la chloredécone, dû à la contamination des sols par ce pesticide.

Le tableau n° 9 représentant brièvement les différents résultats obtenus.

Tableau n° 9 Résultats d'analyse des cendres

	Taux de CLD (µg/kg)	Taux de Chlore calculé du à la CLD (%)	Taux de chlore mesuré de la canne (%)	Taux de chlore des cendres à 550°C rapporté à la canne initiale (%)	Chlore restant dans les cendres à 550°C (%)	Taux de chlore des cendres à 700°C rapporté à la canne initiale (%)	Chlore restant dans les cendres à 700°C (%)
Canne à sucre témoin	0	0	0,246	0,047	18,95	0,0032	1,29
Cannes à sucre contaminées	104	0,00000748	0,837	0,109	13,03	0,0624	7,45
	151	0,00001094	1,486	0,248	16,68		
	190	0,00001371	0,615	0,056	9,10		
	227	0,00001643	0,816	0,128	15,68		
	426	0,00003079	0,925	0,162	17,58		
	591	0,00004267	0,588	0,043	7,24	0,0143	2,43

En premier lieu, nous constatons qu'environ 7 à 18% du chlore présent dans la canne reste dans les cendres à 550°C, et qu'il reste environ 1 à 7% de chlore dans les cendres à 700°C. Les taux de chlore des cendres ne sont *pas représentatifs* de la présence de chloredécone : il y a dans la canne environ 1 000 à 100 000 fois plus de chlore venant du sol que de chlore venant de la CLD. En effet les taux de chlore initiaux des cannes à sucre contaminées sont élevés : de 0.25 à 1.5% . Par exemple, la canne à sucre ayant une teneur en chlore de 1,5% est sensée être une des cannes les

moins contaminées parmi les échantillons disponibles. Une comparaison du taux de chlore des cendres avec la quantité initiale de CLD est donc impossible pour tirer des conclusions sur le comportement de la CLD et la répartition des ces produits de combustion.

2.2.2. Analyse des gaz de combustion dans un four à cuillère et analyse des produits de combustion

Dispositif expérimental

Le dispositif initial utilisé est prévu pour la pyrolyse.. Il a fallu améliorer plusieurs points avant de pouvoir arriver à une combustion encore incomplète :

- Combustion à l'oxygène pur pour favoriser la combustion et non la pyrolyse
- Augmentation du temps de séjour des fumées dans le four, en décalant la position de la nacelle contenant l'échantillon vers l'extrémité du tube. La biomasse est alors brûlée à une température inférieure à la consigne du four comme le montre la figure n°9 mais les fumées sont brûlées à la température voulue.

Après beaucoup d'essais et de réglages, la combustion est meilleure mais de nombreux produits de combustion incomplète sont présents : des goudrons, des produits pyrolygneux (d'où la différence de ce dispositif avec une vraie chaudière).

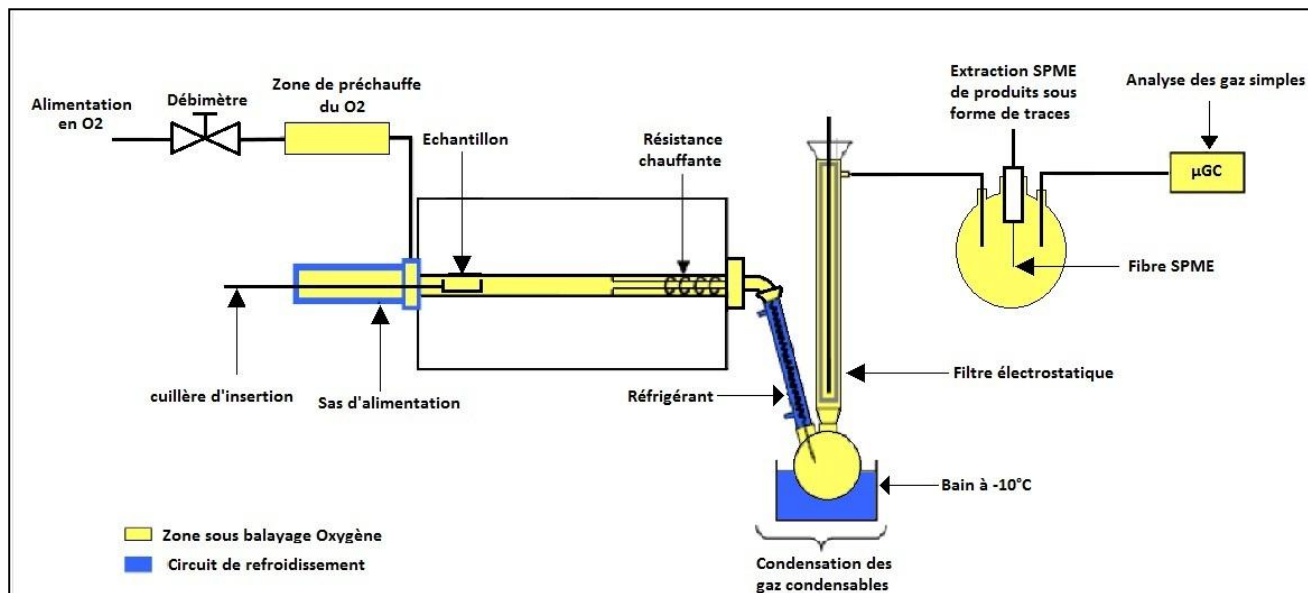


Figure n°9. Schéma du dispositif expérimental de combustion.

Essais de combustion et analyses

Une méthode d'analyse spécifique a été développée : la SPME (Solid Phase Micro Extraction). Cette méthode consiste à mettre en contact une fibre recouverte d'un certain polymère, avec les composés recherchés. Ces composés sont alors extraits par *adsorption*, sans solvant, à partir d'échantillons solides, liquides ou gazeux, même à l'état de traces. Il existe différents polymères, ayant plus ou moins d'affinités avec certaines familles de composés. La fibre choisie pour nos expériences est la PDMS (polydiméthylsiloxane).

Après de nombreux essais avec des cannes plus ou moins contaminées, aucun produit chloré n'est identifié. La question de l'efficacité de cette nouvelle méthode est alors discutée et des essais sur

la chlordécone seule sont alors envisagés. Ces essais se révèlent concluant et l'on a pu dégager plusieurs familles de composés de dégradation de la chlordécone en fonction de la température :

- Les premiers essais sont effectués dans un ballon chauffé au bec benzène (température non précise : environ 400/500°C) produits identifiés : de l'hexachlorocyclopentadiène (HCCP) en grande majorité. Sont également présents : des polychlorocyclopentadiène avec des groupes de cétones, d'amines et des polychlorobenzène (PCB) en petite quantité.
- Les essais dans le four à cuillère, à 650°C : des PCB en grande majorité, et de l'HCCP en petite quantité. A 800°C : des polychlorophénol et des polychlorobiphenyl.

La méthode d'analyse étant prouvée, d'autres essais ont été fait sur des *cannes* recontaminées avec de la chlordécone, pour obtenir des concentrations plus élevées que les échantillons disponibles (25 et 50 fois plus) et pouvoir détecter les produits de combustion. Un produit est alors identifié : le chloronaphtalène. Le naphtalène est issu de la combustion incomplète de la canne. Cependant, après combustion de canne à sucre témoin (non contaminée), le chloronaphtalène est également retrouvé dans les produits de combustion. Nous pouvons donc en conclure que le chlore venant s'attacher au Naphtalène n'est pas forcément issue que de la chlordécone, mais vient également (et en majorité) du chlore issue de la canne.

Conclusion

L'hypothèse de départ était que l'analyse du chlore dans les cendres ou des produits chlorés dans les fumées pouvait nous servir de marqueur des produits issus de la combustion de CLD, étant donné que la canne à sucre contient généralement peu de composé chloré naturellement. En fait, il s'est avéré que les échantillons en notre possession contiennent une quantité très importante de chlore en très large excès par rapport à la quantité de CLD présente dans les échantillons (de l'ordre de 10 000 fois plus). Le chlore ne peut donc pas servir de marqueur des produits de combustion de la CLD, et il n'a pas été possible dans cette partie de conclure sur la présence de produits issus de la CLD dans les cendres ou dans les fumées.

Ces essais de combustion et les analyses des fumées nous ont permis de tirer les enseignements suivants :

- La nature des produits de dégradation thermique de la CLD est très dépendante de la température. Il est donc très difficile de prédire ce qui se passera en chaudière où les conditions de température et de temps de séjours peuvent être différentes et variables dans le foyer.
- La combustion de canne a donné un composé chloré : le chloronaphtalène, qui n'est pas présent dans les produits de combustion de la CLD. Le naphtalène est un sous produit issu de la combustion incomplète (de la pyrolyse) de la biomasse. Il y aurait donc des recombinaisons entre les goudrons et le chlore présent dans les fumées, quelle que soit sa forme ou sa provenance.
- Comme pour la première partie, la présence de ce composé chloré ne peut pas être associée à la présence de CLD dans la mesure où le chlore est présent dans la canne en très large excès par rapport à la quantité de CLD. Le chloronaphtalène a également été identifié dans les produits de combustion de la canne témoin non contaminée. Il n'a pas donc pas été possible de conclure sur la nature des produits de combustion de la CLD dans la canne.

3. VOLET ÉCONOMIE ET ENVIRONNEMENT

Entre le 1^{er} juin 2011 et le 31 janvier 2012, le volet économie et environnement du programme a mis en œuvre 4 composantes complémentaires

- 1) Stage de Master2 en économie à l'UAG dans le cadre du programme REBECCA
- 2) Début de l'Analyse de la rentabilité de la nouvelle filière (Agro-économistes CIRAD)
- 3) Début de l'estimation du gisement agricole potentiel pour une filière de production d'électricité à partir de la biomasse issue de cannes fibres (Agro-économistes de l'INRA Guadeloupe)
- 4) Arrivée pour 6 mois d'un CDD analyse de cycle de vie (ACV) et bilan carbone.

Ces quatre actions complémentaires sont présentées ci-dessous en commençant par la plus ancienne, qui a permis de défricher le sujet.

3.1. Stage de Master2 économie UAG

(Maurice Biloniere, UAG)

Le sujet de ce stage était : « Vers une production de biomasse dédiée à l'énergie dans le sud de la Basse-Terre. Eléments économiques : état des lieux et marges à générer pour rendre la spéculation attrayante pour l'agriculteur ». Ce stage, effectué par Maurice Biloniere, s'est déroulé de mars à juillet 2011. M. Biloniere a fait une présentation de ses principaux résultats lors du comité de pilotage (COPIL) du 29 septembre 2011. Le diaporama de sa présentation est joint en annexe. L'intégralité de la conclusion générale de son mémoire (joint en annexe) est reprise sans modifications ci-dessous, après la page de titre.



Nous avons débuté ce mémoire par la présentation de nombreuses conditions d'ordre sociales, environnementales, énergétiques et économiques qui ont favorisé l'émergence d'un projet de recherche REBECCA en 2008. Ainsi, nous avons pu constater que dans le contexte actuel, cette nouvelle production agricole pourrait être bénéfique sous plusieurs angles. Sur le plan environnemental, il permettrait de résoudre certains problèmes liés à l'utilisation de la chlordécone d'une part et à l'utilisation des énergies fossiles d'autre part. Au niveau énergétique, il permettrait de faire face à l'augmentation de la consommation électrique prévue pour 2020 alors que du point de vue économique il constituerait une alternative intéressante aux agriculteurs actuellement trop éloignés de la sucrerie de Gardel. Cependant l'émergence de la filière canne-énergie s'accompagne de conditions qu'il faudrait respecter, en particulier la disponibilité suffisante en terrains agricoles dans la zone sud Basse-Terre et un intérêt suffisant de la part de l'agriculteur, notamment (mais pas exclusivement) au niveau de l'attractivité économique.

Ces deux paramètres sont étroitement liés entre eux et ils dépendent également d'un facteur commun : l'agriculteur. En effet, le niveau de revenu généré par la filière est un facteur d'intérêt incontournable pour tout individu rationnel tel que l'agriculteur. Si les revenus sont suffisamment intéressants pour ce dernier, il s'orientera vers la nouvelle filière ce qui signifie qu'il mettra ses parcelles à disposition de cette dernière. En revanche, dans le cas contraire, le développement d'une telle filière serait inconcevable. Au cours de ce Mémoire nous nous sommes donc focalisés sur ces deux principales conditions liées au programme Cann'elec. Nos estimations tirées de plusieurs sources montrent que dans la zone sud Basse-Terre (communes de Goyave, Capesterre-Belle-Eau, Trois-Rivières, Vieux-Fort, Gourbeyre, Basse-Terre, Baillif, Saint-Claude et Vieux-Habitants) les surfaces actuelles en canne-à-sucre (hors canne à rhum) sont de l'ordre de 200 ha. Il existe des surfaces en jachère d'environ 900 ha qui sont pour la plupart intégrées en rotation dans des systèmes de production basés sur la banane. Même en ayant l'accord de la plupart des agriculteurs cannières et bananiers il se pourrait que les surfaces disponibles pour la production de canne énergie n'atteignent pas les 1100ha nécessaires à l'implantation d'une unité de production électrique de 10MW tel que défini par le programme. Par conséquent, dans le contexte des analyses de notre étude, il faudrait peut-être s'orienter vers l'implantation d'une unité de production électrique d'une puissance moindre qui optimiserait, au moins dans un premier temps, les productions de canne énergie. Concernant le niveau de revenu à générer pour que la filière soit attrayante pour l'agriculteur, nous avons effectué une première approche au cours de ce Mémoire en se basant sur le niveau de revenu généré par la filière canne-à-sucre dans la zone sud Basse-Terre. Il en ressort que pour être aussi attrayante que la canne-à-sucre (environ 3500€/ha/an dans nos hypothèses de calcul (en particulier : 98 t/ha et pas de coût de foncier), il faudrait que le prix d'achat de la canne-fibre soit compris entre 55€ et 44€/t de Matières Fraîches pour des rendements annuels moyens compris entre 130t/ha et 180t/ha de biomasse totale. Il est à noter que ces niveaux de prix calculés sont très nettement inférieurs à ceux de la canne-à-sucre (69€/tc), Ceci est dû à un niveau espéré de rendement de la canne fibre supérieur à celui de la canne à sucre, avec des augmentations de coûts de production moins que proportionnels.

Les premiers résultats obtenus au cours de cette étude constituent une base, un préliminaire indispensable à l'enrichissement des connaissances actuelles, plutôt limitées, sur le développement d'une filière canne-énergie. Il est donc prévu que ces travaux soient approfondis à court terme suivant différents axes :

- élargissement de la quantification des surfaces agricoles actuelles en intégrant la commune de Petit-Bourg. Dans la mesure où cette commune est proche de la zone sud Basse-

Terre, il serait intéressant de voir les possibilités supplémentaires qu'elle offrirait en termes de surfaces potentiellement disponibles pour le développement de la canne-énergie.

-prolongement de l'approche agriculteur en calculant un prix d'achat de la canne-fibre en partant du niveau de revenu généré par un hectare de banane. Si la canne-à-sucre est une des principales cultures de la zone sud Basse-Terre, la banane demeure la principale culture de cette zone. Il serait donc intéressant de savoir à quel niveau de prix d'achat de la canne-fibre le revenu généré par la filière deviendrait comparable à celui de la filière banane.

-adoption d'une approche plus industrielle en calculant un prix d'achat de la canne-fibre partant du prix actuel du kWh en Guadeloupe. Ceci permettrait une comparaison des différents prix d'achat obtenus à l'aide des deux approches (producteur et industrielle) et, in fine, de déterminer le prix d'achat de la canne-fibre pour rendre toute la filière attractive.

A moyen terme, des travaux et outils plus sophistiqués devraient être entrepris pour les consolider et élargir la connaissance de la filière et de son intérêt économique. Ces travaux ultérieurs devraient intégrer de la modélisation afin, en particulier, de bâtir des scénarios intégrant les variations futures des paramètres économiques, agricoles et industriels et leur impact sur la rentabilité et l'attractivité de la filière canne-énergie

Ils pourraient aussi faire des comparaisons du prix du kWh issu de la canne-énergie par rapport aux prix du kWh issus des autres énergies renouvelables (biomasse de bagasse, éolien, géothermie, solaire, ...) afin de préciser la compétitivité de l'électricité produite à partir de la canne-fibre.

Ce travail, fondé sur des données bibliographiques et des entretiens avec des acteurs locaux a permis de jeter les premières bases des estimations : (i) sur le gisement des surfaces potentiellement disponibles pour la canne combustible, (ii) sur les prix à payer aux producteurs, (iii) sur la capacité de production d'électricité en liaison avec le gisement potentiel : une seule usine de moins de 10MW. Maurice Biloniere, principalement encadré par le chef de programme REBECCA, a eu une très bonne note de stage.

3.2. Analyse de la rentabilité de la nouvelle filière

(Jean-Louis Fusillier, Caroline Lejars, CIRAD)

L'appui des économistes du Cirad Caroline Lejars et JL Fusillier, entre juin 2011 et fin janvier 2012, a débuté par une mission effectuée décembre 2011. Elle a permis d'initier des travaux relatifs à la rentabilité de la filière canne combustible. Les objectifs de cette mission étaient de :

1. Faire un point d'avancement des activités du volet économie-environnement de la phase I du programme Rebecca et caler le contenu de notre étude avec celles de l'INRA et du CDD bilan Carbone.
2. Préparer le cadre d'analyse et les calculs de la rentabilité de la filière canne-fibre- Définir et valider les scénarios d'organisation à tester avec les partenaires - Commencer l'analyse des conditions de la rentabilité, sur la base des données disponibles.

La mission a permis de lancer l'activité de l'ingénieur spécialisé en études analyses cycles de vie en délimitant le système étudié et en fixant des scénarios, en relation avec les responsables du programme REBECCA.

Pour la partie « analyse de la rentabilité », un premier outil de calcul a été réalisé. Toutefois, beaucoup de données d'entrée sont encore manquantes. La maquette pour l'analyse de la rentabilité a été réalisée. La figure n° 10 résume le fonctionnement général.

L'analyse se fera en prenant en compte 4 chantiers principaux : le chantier « transformation » de la matière première, le chantier « approvisionnement et transport » et le chantier « production »

de la matière première, divisé en un chantier « plantation » et un « entretien culture ». Pour chacun de ces chantiers, les postes de charge sont évalués. Les données clés d'entrée de chaque scénario sont la capacité de production de l'usine, la surface cultivée, le rendement canne, le rendement de conversion de l'usine, la qualité de la matière première. Un revenu global filière est calculé, sur la base d'un prix de l'électricité fixé entre 200 et 220 euros/MWh.

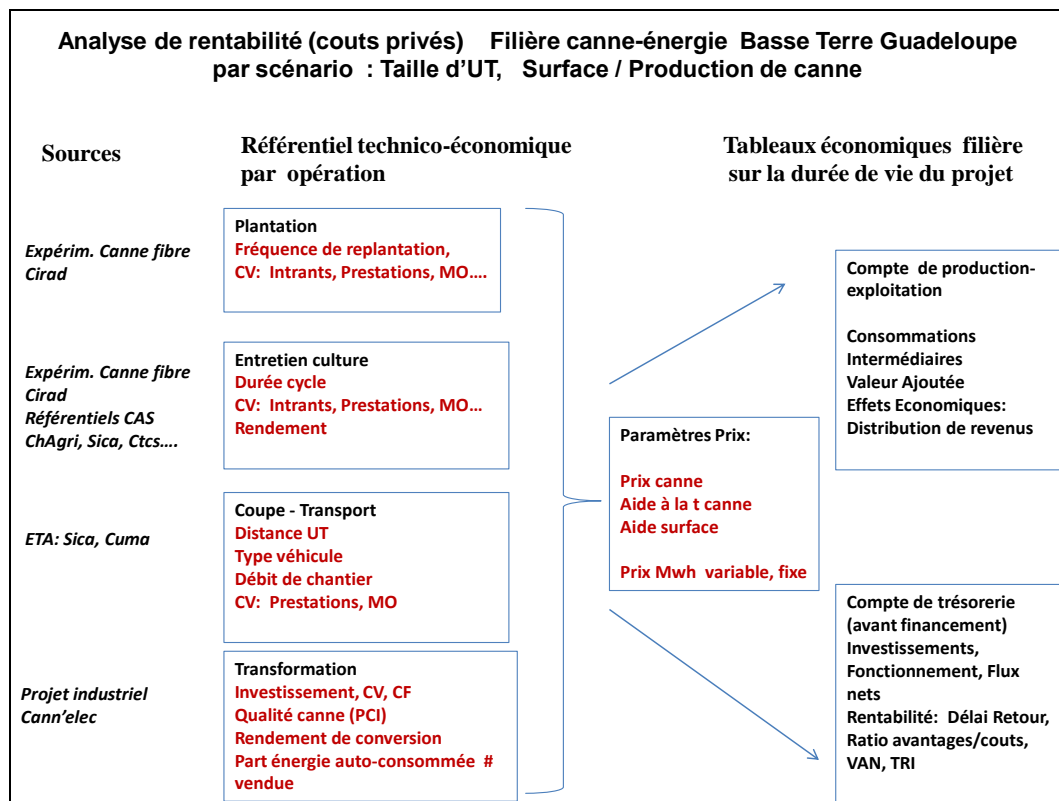


Figure n°10 Schéma de fonctionnement général du calcul de la rentabilité.

Les comptes de production et d'exploitation ainsi que les comptes de trésorerie avant financement seront détaillés pour la filière. Les calculs seront faits sur une période de 25 ans, qui correspond à la durée d'amortissement de l'outil industriel. Les comptes d'exploitation prévisionnels sont faits dans un premier temps, pour une année de « croisière ». L'outil est toutefois conçu pour intégrer dans les calculs les charges liées à une substitution des terres (préparation des sols en friche) et liées à la montée en puissance de l'outil industriel les 4 premières années (avec une baisse progressive de l'utilisation du fuel pour pallier aux manques de matière première).

La rentabilité dépendra des éléments liés à la conception des unités industrielles et des niveaux de production de biomasse dans différents scénarios de culture. Les données nécessaires au calcul de la rentabilité sont collectées auprès de Cann'elec Développement pour la partie industrielle. Pour la partie agricole, les données de références sur le système de production cannier en Guadeloupe seront mises en commun avec l'INRA Guadeloupe et les données relatives aux expérimentations variétales et agronomiques (biomasses et pouvoir calorifiques, itinéraires techniques) seront recueillies auprès du chef (Cirad) de programme REBECCA.

3.3. Estimation du gisement agricole potentiel pour une filière de production d'électricité à partir de la biomasse issue de cannes fibres

(Jean-Marc Blazy, François Causeret, Jean-Louis Diman, Loïc Guindé, INRA)

Le CIRAD a requis mi-2011, l'appui des économistes de l'Unité de Recherche sur les Agrosystèmes Tropicaux (UR ASTRO) du Centre INRA Antilles-Guyane. L'expertise acquise lors d'activités de recherche anciennes (développement du modèle d'offre MICA), ou plus récentes (évaluation ex-ante des conditions d'adoption de systèmes de culture bananiers innovants), confère à l'équipe une connaissance des systèmes de production agricole en place et un savoir-faire en terme de modélisation des exploitants agricoles du territoire face à l'innovation. Dans le contrat de prestation de service qui lie l'INRA au CIRAD pour le programme REBECCA (septembre 2011), il a été demandé à l'INRA d'estimer le gisement agricole potentiel pour la mise en place d'une filière de production de « cannes fibres » sur la commune de Capesterre-Belle-Eau (CBE).

3.3.1. Matériels & méthodes

Pour évaluer le gisement potentiel de canne fibres (CF), la démarche s'est appuyée sur un jeu de données décrivant le parcellaire actuel de la commune de CBE et sur un corpus d'hypothèses relatives aux conditions d'implantation d'une culture de cannes fibres. Ces hypothèses ont été formulées sur la base d'une analyse préalable de l'usage actuel des sols à CBE (analyse des déclarations des surfaces agricoles collectées par AGRIGUA de 2004 à 2010) et des entrevues auprès des différents acteurs du secteur agricole dans la zone étudiée, en particulier, l'organisation des producteurs de banane de Guadeloupe (LPG), spéculation prédominante dans la zone, et les acteurs de la filière canne à sucre (CUMA côte au Vent, Chambre d'Agriculture de la Guadeloupe, UDCAG, IGUACANNE). Suite à cette phase d'analyse et de collecte de données, nous avons défini 3 types de conditions d'éligibilité des parcelles agricoles pour la mise en place d'une culture de cannes fibres. Ces conditions sont relatives aux :

- Contraintes pédoclimatiques pour l'implantation de cannes fibres : pente, type de sol, altitude de la parcelle.
- Contraintes foncières : surface, périmètre et tenure foncière de la parcelle.
- Déterminants économiques : usage actuel du sol, faisabilité technique de la conversion (ex : exclusion des zones boisées), supériorité de la marge nette à l'hectare du débouché « canne fibre » par rapport au débouché actuel.

Nous avons ensuite intégré dans un outil de simulation les données du parcellaire actuel et les conditions d'éligibilité. Le simulateur « GIZKAN » permet d'évaluer le gisement surfacique et massique sous différents scénarios agro-économiques d'émergence d'une filière canne fibres dans la zone. Les scénarios peuvent être paramétrés en fonction des caractéristiques des parcelles (usages, contraintes du milieu, modes de tenure du foncier), des marges brutes des spéculations en présence, du prix d'achat de la canne fibres, de la productivité surfacique (rendement agronomique en tonnes/hectare/an) et des politiques économiques de soutien aux différentes filières. En sortie du modèle nous obtenons le gisement surfacique et la quantité de biomasse produite. En inférant l'utilisation du modèle sur différentes gammes de paramètres nous avons étudié la sensibilité de ce gisement à des paramètres clés tels que le prix d'achat de la canne fibre ou le rendement agronomique.

3.3.2. Premiers résultats

Le programme REBECCA intervient dans une situation où Capesterre Belle-Eau comporte une SAU de près de 2400 hectares selon le dernier Recensement Général Agricole (RGA DAF, 2011), laquelle est fortement en recul comparativement aux recensements précédents. Parmi les spéculations présentes, *Saccharum officinale* est une espèce cultivée depuis déjà bien longtemps sur le territoire de la commune. L'industrie sucrière a été très active dans la zone jusque dans les années soixante. Après la fermeture de la sucrerie de Marquisat, seule une activité rhumière s'est maintenue. Toutefois depuis 1998, compte tenu des difficultés rencontrées par la filière bananière, omniprésente dans la zone au cours des cinquante dernières années, un retour de la canne à sucre s'est organisé, principalement dans des systèmes de rotation avec la bananeraie, ceci dans l'objectif d'interrompre le cycle des ravageurs affectant cette dernière (Charançon noir du bananier, nématodes telluriques, etc.). Aujourd'hui selon la Chambre d'Agriculture, on compterait une trentaine de planteurs de canne au Sud Basse-Terre, principalement à CBE.

Le bilan de l'usage actuel du parcellaire agricole de CBE est présenté dans le tableau 10. D'après les données de déclaration de surface, les principaux usages du sol sont la culture de la banane (1235 ha), la canne à sucre (398 ha) et les jachères (336 ha). Environ 120 hectares sont utilisés dans le cadre de prairies, savanes ou espaces pâturés. Les autres cultures représentent toutes des surfaces cumulées de moins de 50 hectares. Ce sont principalement des cultures alimentaires à forte valeur ajoutée destinées au marché local (ananas, banane créole, agrumes). Les friches représentent 50 hectares et les bois 33 hectares. Enfin, 90 hectares correspondent à un ensemble de cultures de faible importance surfacique.

Cultures	Année 2010 (hectares)	Scénario de Référence	Scénario de Référence avec progrès mécanisation	Scénario de Référence avec -25% aides UE	Scénario de Référence avec -50% aides UE	Scénario de Référence avec aide 1000 €/ha Canne Fibre
Cannes fibres	0.0	632	802	1466	1466	1492
Banane export	1235	1235	1235	401	401	401
Canne à sucre	398	4	3	4	4	4
Jachère	336	156	58	156	156	156
Prairie permanente	63	42	14	42	42	42
Banane créole	51	51	51	51	51	25
Friches	50	43	19	43	43	43
Bois	33	33	33	33	33	33
Savane pâturée	30	15	5	15	15	15
Ananas	29	29	29	29	29	29
Prairie temporaire	27	13	3	13	13	13
Agrumes	11	11	11	11	11	11
Autres cultures	90	90	90	90	90	90
Total (ha)	2355	2355	2355	2355	2355	2355
Gisement de cannes fibres (tonnes/an)	63 207		80 211	146 640	146 640	149 245

Tableau 10. Usage des sols en 2010 et gisement prospectif en canne fibres selon 5 scénarios.

Le paramétrage du modèle GIZKAN a été effectué selon plusieurs scénarios. A titre d'exemple, nous présentons ici 5 scénarios hypothétiques. Le scénario de référence correspond à une situation où la canne fibre est calquée sur le modèle canne à sucre mais avec une rentabilité légèrement supérieure : rendement de 100 tonnes/ha/an, prix d'achat de la canne fibre de 65€/tonne, contraintes topographiques calquées sur l'implantation actuelle de la canne à sucre.

La figure 11 présente la courbe d'offre inverse du gisement en biomasse en fonction du prix de rémunération de la canne fibre, pour le scénario de référence. 6 courbes sont bâties pour différentes hypothèses de rendement agronomique, de 100 à 200 tonnes/ha/an. A titre d'illustration nous avons fait figurer sur la figure 7 deux seuils de gisement : en bleu un seuil d'implantation qui pourrait correspondre à l'implantation d'une centrale de 5 MW et en rouge celui pour une centrale de 10MW.

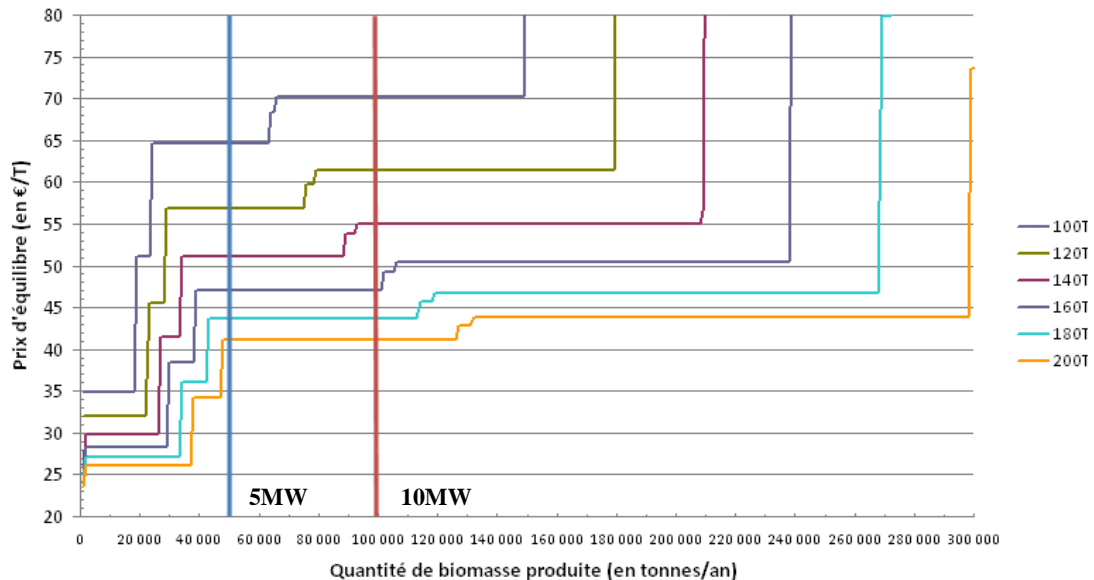


Figure 11. Courbe d'offre inverse du gisement en canne fibre pour différents niveaux de rendement de la canne fibre dans les conditions du scénario de référence.

3.4. Analyse du cycle de vie de la filière canne fibre en Guadeloupe

(Thomas Merle, CIRAD)

Thomas MERLE, ingénieur spécialiste de l'analyse de cycle de vie et du bilan carbone, est arrivé début décembre 2011, en CDD de 6 mois. Il s'agit donc ici, d'un compte rendu de début de travail, après 2 mois. Plus que des résultats, c'est l'approche environnementale, complémentaire aux travaux d'agronomie et d'agro-économie et bénéficiant des informations fournies par ces volets et la méthode qui sont présentés.

3.4.1. Définition des objectifs et du système

Les limites du système prennent en compte l'ensemble des substances consommées et émissions produites depuis la mise en place de la culture de canne fibre jusqu'à la production d'électricité par combustion des cannes entières.

L'unité fonctionnelle établie est le kWh électrique produit. Tous les indicateurs d'impact seront ramenés au kWh électrique produit en vue de comparer les différents scénarios.

L'étape agricole : Le système considéré est le gisement potentiel estimé par l'INRA. Tout ce qui entre et sort de ce système agricole est pris en compte. Ainsi sont intégrées dans cette étape toutes les consommations d'intrants apportés par l'homme nécessaires depuis la plantation jusqu'à la récolte des cannes, ainsi que les étapes de fabrication de ces intrants. Cela comprend la consommation de fioul pour la culture et pour son transport, les intrants de fertilisation, de

défense des végétaux, l'irrigation, les boutures, le matériel agricole..., sont exclues du système les infrastructures liées au fonctionnement des CUMA. De plus, les produits extraits du système sont pris en considération ainsi que les émissions liées à ces activités humaines. Les émissions de N₂O, de nitrate, d'ammoniac, de pesticide vers l'eau, l'air ou le sol, ainsi que les molécules liées à la combustion du gasoil lors des travaux sont prises en compte.

L'étape transport : Le transport est caractérisé à partir du réseau routier, de la capacité des camions, du rendement, de la zone d'implantation de la centrale.

L'outil SIG sera mobilisé dès que les données IGN seront accessibles (en attente...). Le profil utilisé pour le transport se fait par t.km. Il existe ainsi dans la base de données différents moyens de locomotion permettant de donner l'impact du transport pour chaque tonne transportée sur un kilomètre. Ce profil intègre des données relatives aux infrastructures routières (européennes), à un retour à vide, à une usure du véhicule ainsi qu'à une consommation moyenne.

Le travail sur un processus transport Guadeloupéen plus précis n'est pas envisagé.

L'étape industrielle : De la même façon que précédemment, tous les flux entrants et sortant du périmètre du site industriel sont comptabilisés depuis l'entrée des cannes transportées jusqu'à la production d'électricité, à l'exception de ceux liés au personnel (déplacement, éclairage des locaux,...). Les flux d'intrants principaux sont les produits consommables, les équipements, l'infrastructure. Etant donné le degré d'information dont nous disposons pour l'étude, nous étudierons la part des équipements et de l'infrastructure dans le bilan global.

3.4.2. Cadre méthodologique

Le rapport établi par BioIS en 2008 fournit un cadre méthodologique pour l'élaboration d'ACV appliqués aux biocarburants de première génération. L'outil Simapro accompagné de la base de données Ecoinvent nous sert de référence pour cette étude. Nemecek, 2007² fournit le cadre de l'inventaire pris en compte dans la base de données Ecoinvent pour les systèmes de production agricole. Les émissions de CO₂ de la combustion de biomasse ne sont pas comptabilisées dans le bilan GES. Dans un premier temps, et selon les recommandations BioIS pour l'Europe, les scénarios de changement d'affectation des sols seront exclus du système.

Les différents scénarios

L'outil ACV est employé pour comparer les charges environnementales de différents scénarios de base envisagés, à savoir une unité de combustion de 5MW et une autre de 10 MW. Plusieurs scénarios alternatifs sont aussi définis et sont fonction des paramètres suivants:

- Lieu d'implantation de la centrale : évaluation des distances par SIG
 - o en attente des données IGN
- Choix variétal : rendement et composition, résultats du volet agronomique
 - o Export des résidus. Regard sur :
 - La qualité de la production électrique (risque de pollution terre CLD)
 - La quantité électricité
 - Le risque accentué d'érosion (paillage → M.O. et protection érosion)
- Gisement de production : établi par l'INRA

Des scénarios de montée en puissance sur 4 ans nécessitent normalement l'évaluation environnementale de chacun des autres gisements envisagés (résidus de banane, déchets verts...). Seule la production canne fibre est évaluée pour cette première phase.

² Nemecek T. & Kägi T. , 2007, Life cycle inventories of agricultural Systems, EcoInvent report n°15

4. ACTIVITÉS DU CHEF DE PROGRAMME

(Jean-Louis Chopart, CIRAD)

Des activités de recrutement et d'encadrement de personnel, de reporting, de communications et de relations extérieures ont été conduites dans le cadre des fonctions de chef de programme.

1) Encadrement de stagiaires.

Le mois de juin 2011 a correspondu à :

- la fin de la première partie de stage de Maurice qui a soutenu son mémoire le 29 juin, le chef de programme REBECCA faisant partie du jury
- la fin du stage de Géraud de Saint Seine, parti le 30 juin.

L'appui à la finalisation des rapports de stage a représenté une charge de travail importante pour le chef de programme. Le mémoire comme la présentation, fruit de seulement 3.5 mois de travail ont impressionné MM Montauban et Borda ses professeurs de l'Université membres du jury et il a obtenu la meilleure note de stage et de soutenance.

2) Préparation des réunions du comité de direction CODIR des 9 juin (par visio conférence) et 20 septembre (à Montpellier) et participation à ces CODIR, avec présentation des résultats.

3) Préparation et participation au comité de pilotage COPIL du programme le 29 septembre COPIL à Jarry. Les personnes présentes étaient : M. Fils-Lycaon (DRRT, Président du COPIL), Mme Ernatus (DRRT), D. Polti (Cirad, représentant du DR), M. Fournier (Synergîle), Mme Martel (ADEME), Mme Wagner (cabinet Explicit), Mme Jules (Région / Energie), M. Mauranyapin (CTCS), Mmes Calabre-Zébu et Spartien (Préfecture / cellule Europe) et Mme Weck (Région / Recherche et innovation). Par skype : MM. R. et B. Guichard.

JL Chopart et Bruno Bachelier, venu en mission pour ce COPIL ont présenté les premiers résultats, les actions en cours et celles prévues. Maurice Biloniere, ancien stagiaire en économie a, de son côté, présenté une synthèse de son stage de master économie.a

4) Rédaction du rapport scientifique et financier intermédiaire du programme

La rédaction de la partie scientifique du premier rapport intermédiaire du programme REBECCA constitué un point fort du travail en octobre. Il a été transmis à la DRRT par le Directeur régional du Cirad le 21 octobre. Ce rapport a été transformé en note scientifique du programme (note scientifique n°4).

5) Rédaction de trois notes d'information du programme

Flash-Info n°2 Points forts du Programme REBECCA entre le 10 juin et le 12 juillet 2011

Flash-Info n°3 du 21 10 : Points forts du Programme REBECCA entre le 20 09 et le 21 10 2011

Flash-info n°4 du 24 11: Points forts du programme REBECCA entre le 22 10 et le 24 11 2011.

6) Participation à deux réunions officielles, autres que les COPIL et CODIR, avec présentations PowerPoint.

- Réunion du 29 11 de présentation du programme aux acteurs de type institutionnel
- Réunion du 29 11 de présentation du programme aux producteurs ou acteurs opérationnels.

7) Rédaction de 2 notes scientifiques (n°3 et 4)

- *Chopart JL, Juin 2011. Point sur les activités et études réalisées entre le 1^{er} avril et le 7 juin et programmées en phase 1. Note scientifique n° 2.*
- *Auzoux S, Chopart JL, De Saint-Seine G., Septembre 2011. REBECCA-BD.A (V1.0), base de données agronomiques du programme REBECCA : présentation et guide de l'utilisateur. Note scientifique n°3.*
- *Chopart JL, Janvier 2012. Rapport d'exécution de la première année du programme REBECCA, de mai 2010 à mai 2011. Activités, premiers résultats et indicateurs. Note scientifique n°4.*

8) Recrutements d'un technicien et d'une volontaire du service civil (VSC) pour la gestion du programme.

Un technicien agricole guadeloupéen Bernard Marseille à été recruté en CDD le 7 octobre 2011 à la suite d'entretiens et à partir des résultats de la première séance de recrutement de février 2011 qui a permis de recruter le premier technicien.

Une VSC gestion de projet a été recrutée parmi une dizaine de candidats. La candidate retenue a été engagée en CDD le 15 décembre pour une période de 8 mois. Elle a pour fonction principale d'assister la personne chargée du suivi des projets pour les aspects gestion du programme et rapports financiers et le chef de programme pour la partie administrative et financière du programme.

9) Réception de visiteurs.

Le 30 juillet, P Ménard, du Ministère de l'agriculture à Paris en mission à la Guadeloupe a souhaité rencontrer le chef du programme REBECCA pour s'informer sur ce programme de recherche.

5. CONCLUSION

Au cours de la période de 8 mois allant de début juin 2011 à fin janvier 2012, de nombreux résultats scientifiques prometteurs ont été obtenus concernant les trois volets du programme REBECCA.

Concernant le volet agro-variétal, certains des résultats présentés, comme les biomasses sèches des variétés obtenues en première année d'essais statistiques, devront être (i) complétés en fin de phase 1 par le pouvoir calorifique de la biomasse produite et (ii) consolidés en phase 2, en première et seconde repousses plus représentatives des performances des variétés.

D'autres résultats peuvent dès maintenant être considérés comme des acquis définitifs, au moins pour la phase 1 :

- Les modèles permettant d'estimer les taux de fibres et le pouvoir calorifique du matériel testé.
- La base de données REBECCA-BD-A V1.0.

Concernant les études sur la chlordécone dans la plante, il a fallu attendre les premiers résultats variétaux pour limiter les analyses aux variétés les plus prometteuses à cause du coût élevé des analyses. Les premiers résultats sur la chlordécone sont néanmoins prometteurs et innovants. D'autres vont venir d'ici la fin de la phase 1 en juin. Les études concernant la combustion en laboratoire ont permis de faire avancer la connaissance sur la combustion de la chlordécone pure mais ont aussi montré les limites de la représentativité de la combustion de tiges de cannes dans des conditions de laboratoire (ce qui est, en soi, un résultat).

Concernant le volet économique et environnemental, à partir des résultats obtenus par le stagiaire de l'UAG, on a finalisé et adapté un programme de recherche qui tient compte de ces éléments. L'intervention d'agroéconomistes de l'INRA de Guadeloupe a débuté. Ceux-ci connaissent bien le milieu socio-économique local et disposent d'outils et de modèles déjà utilisés localement. Des premiers résultats ont été présentés par eux dans ce document, d'autres plus complets vont venir. Ils vont bénéficier des résultats du volet agro-variétal (performances et propriétés de la biomasse produite, en cours d'obtention) ainsi que d'éléments liés aux aspects environnementaux et industriels.

L'affectation sur le terrain d'un spécialiste des études environnementales (ACV, bilan carbone) n'était pas prévue dans la version finale du projet phase 1, après contraction des durées et des budgets (mai 2010). On a pu, néanmoins, après une réorganisation du budget initial, recruter début décembre 2011, un ingénieur environnementaliste en CDD de 6 mois. Sa contribution à l'œuvre commune se concrétisera d'ici fin mai, date de son départ.

La mise en commun de ces résultats agronomiques, environnementaux et économiques et l'intégration des modèles économiques sont une nécessité pour évaluer la faisabilité et l'intérêt de cette nouvelle filière. Il faut d'abord apprendre à travailler ensemble entre des partenaires de cultures différentes (agronomique, économique, environnementale, industrielle). L'intégration a commencé. Par exemple, les premières données du volet agro-variétal (niveau de rendements) ont déjà servi à l'environnementaliste et aux économistes pour renseigner leurs outils. Cette intégration des données et des modèles sera l'enjeu de la phase 2.

Annexe 1. Pluviométrie de juin 2011 à janvier 2012 à Capesterre Belle-Eau sur le site du programme REBECCA au Fromager

Jours	Juin	Juillet	Aout	Sept..	Oct.	Nov.	Déc.	Janvier
1	0	28.2	15	5	0.4	26.4	3.6	2.6
2	0	33.6	15.6	5.8	1.2	1.6	28.2	2
3	0	6.4	6.4	2.2	2.4	0.2	20	1.2
4	0	1	1.2	0	0	0	25.8	2.6
5	0	0	6.8	4.2	1.8	2.8	1.2	10.2
6	2.4	21.2	3.8	0	0	1.8	6	1
7	25	13.2	19	0.2	18.6	20.2	1.6	0.2
8	1.4	0.8	19.6	2.6	5.8	0	0	1
9	0.4	0	42.2	11	0	0.6	0	2
10	0	15.8	31.4	12.2	16.4	2	7.4	0.2
11	0	53.6	0	6.2	44.8	0	0	5.8
12	0.2	3.8	3.8	8.4	19.2	4.6	9.2	0.2
13	6.6	46.8	8.2	3	28	2.8	9.6	1.6
14	6.6	0	0	0	3.2	0	7.8	1.6
15	2.6	2	20	1.4	16.6	0.2	0	1.6
16	2.6	8.2	86.2	2.2	12.2	3.4	1.8	0.2
17	1.6	7.6	1	35.2	5.6	8.6	0	1
18	1	10.2	7.4	18	10.8	0.6	3.4	0
19	1.6	9	0.6	46	41	2.4	0	1.8
20	15	0	24.4	1	3.2	0.2	0	0
21	1.4	4	49.8	1.6	18	0	8.2	0.2
22	0	13	3	1.2	1.6	0	13	0.2
23	1	39	0	1.6	13.6	0	5	0.2
24	2	3	4.2	70.6	33	93.2	8.2	3.2
25	0	69.8	9	0	28.4	18	3	0
26	13	12.8	4.6	1	6	11.2	0.6	
27	6	9.2	2.4	7	2.4	54.6	6	
28	0.8	102	0	4.2	9.4	105	0.4	
29	7	10.4	0.2	43.8	8.6	60.4	1.8	
30	2.2	9.4	8	0	10.4	0.2	2.8	
31		28.6	14.4		12		2.6	
Total	100.4	562.6	408.2	295.6	374.6	421	177.2	40.6
jour pluie	21	26	27	25	26	23	24	22